人の存在を検知する保護装置及び支援機器の動向 －労働安全の視点から－

独立行政法人労働安全衛生総合研究所

機械システム安全研究グループ部長　梅崎重夫

同　上席研究員　清水尚憲

電気安全研究グループ研究員　濱島京子

本日の発表予定

１．保護装置を現場で活用する際の留意点（最近非常に気になること）

２．今後、現場で必要な保護装置と支援機器は？（第三次産業で発生した労働災害や危険点近接作業の分析結果などから）

３．当研究所で検討した保護装置と支援機器の具体例

保護装置を現場で活用する際の留意点（1）
―最近非常に気になること―

1）本質的安全設計方策の重要性に対する認識不足

- 実際の現場では、『災害が心配だから安全装置でも付けておくか』といった取り組みが多い。しかし、本来，生産ラインの抜本的改善を含めた**本質的安全設計方策**による危険源の除去こそ現場で**最優先**すべきである。

- 本質的安全設計方策では，危険源への暴露機会の制限，安定性、保全性，人間工学的原則の遵守など，TPM関連技術が多い。したがって，**TPM関連技術**を生産技術としてだけでなく**本質的安全設計方策の基盤技術としても活用**できれば，安全性と生産性の両面に配慮した画期的な生産システムを構築できる可能性がある。

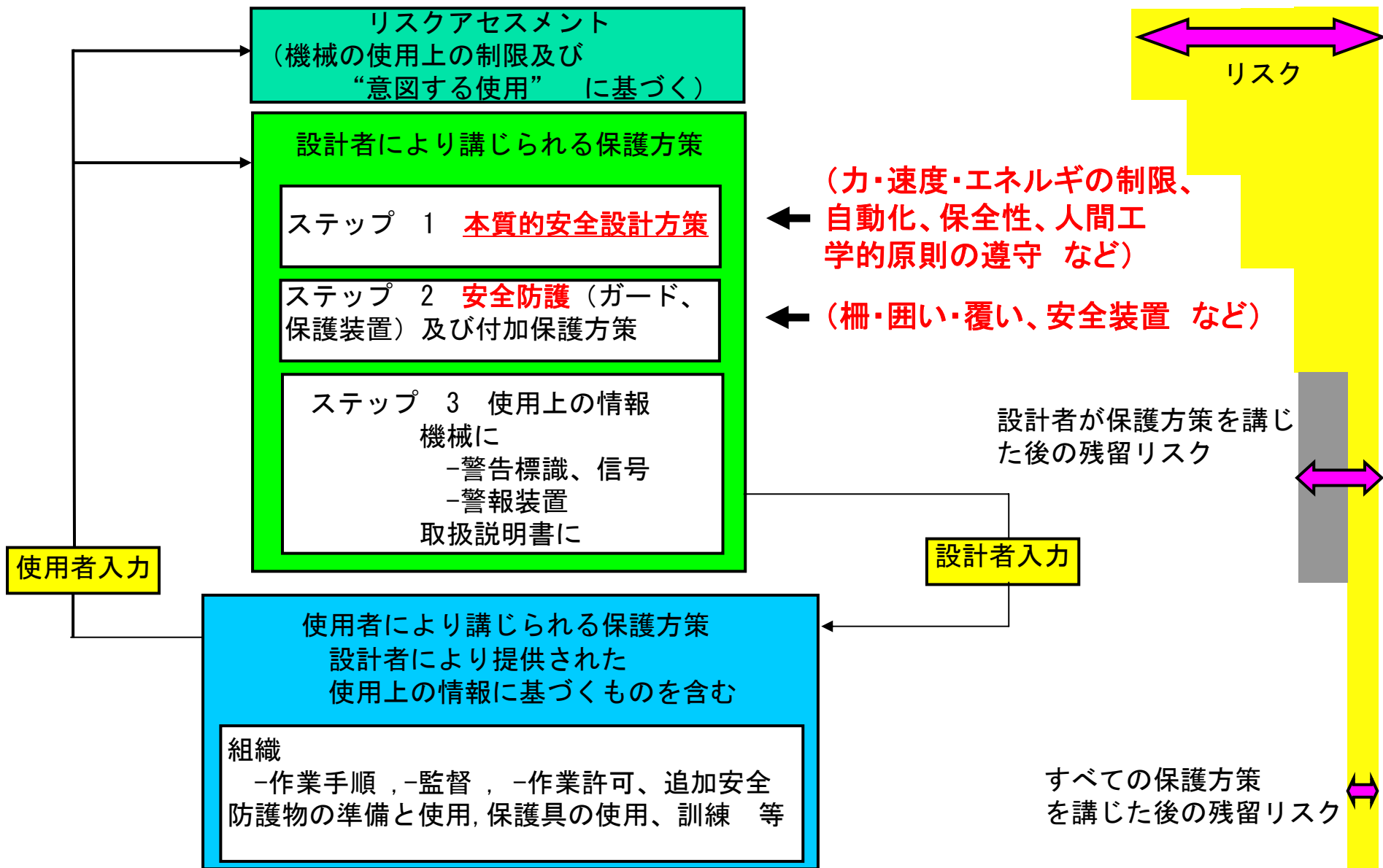



図 ISO12100（JISB9700）のリスク低減戦略

※機械の包括的安全基準はこの戦略を基本としている

表　本質的安全設計方策の一覧表

No.	大項目	中項目	ISO12100-2の項番
1	幾何学的要因の考慮	・制御位置から危険区域を直接視認できる ・挟まれるおそれのある部分は，人体が進入できないように狭くするか，または挟まれるおそれがない程度に広くする ・鋭利な角部，端部，突出部などの回避	4.2
2	物理的側面の考慮	・作動力の制限 ・速度や運動エネルギーの制限 ・エミッションの制限（騒音，振動，危険物質，放射など）	4.2
3	機械設計に関する一般的技術知識の考慮	・機械的応力の考慮（応力制限，過負荷防止，応力変動，回転要素の静的及び動的バランスなど）， ・材料及びその特性の考慮（腐食，経年変化，磨耗，延性，脆性，毒性，引火性など） ・エミッション値の考慮（騒音，振動，危険物質，放射）	4.3
4	適切な技術の選択	・爆発性雰囲気に対する油空圧システムや本質安全防爆構造の使用 ・溶剤の発火点より十分低い温度を維持する設備の使用 ・騒音レベルを回避するための代替設備（空圧設備の代わりに電気設備，機械的切断の代わりに水による切断など）	4.4
5	構成品間のポジティブな機械的作用の原理の適用	・ポジティブな機械的作用の適用（機械的構成品が直接接触して，又は剛性要素を介して他の機械的構成品と連動する場合を，ポジティブモードでの結合と呼ぶ）	4.5
6	安定性に関する規定	・基礎の形状寸法，負荷を含めた重量分布，転倒モーメント，振動，重心の変動，設置面の特性，外力（風圧，人力など）	4.6
7	保全性に関する規定	・接近性，作業環境，工具の寸法，人体寸法，取り扱いの容易さ，人の能力の考慮，特殊な工具及び機材の数の制限	4.7

8	人間工学原則の遵守	・ストレスの低減，インターフェースの明確化，ストレスの大きな姿勢や動作の回避，人の身体構造に配慮した操作盤の最適設計，騒音・振動・温熱の影響の回避，作業リズムを自動運転のサイクルに無理に合わさない，適切な照明の採用，手動制御器の最適な選定と配置，指示器・ダイヤル・表示ユニットなどの最適な選定と配置	4.8
9	電気的危険源の防止	・IEC60204-1に対応する措置	4.9
10	空圧及び液圧設備の危険源の防止	・圧力制限装置の使用，サージ圧や圧力の上昇や低下，危険な流体の噴出，エアレシーバーやアキュムレータの規則への適合，パイプやホースの保護，動力遮断時のアキュムレータの減圧，残圧の排出	4.10
11	制御システムへの本質的安全設計方策の適用	・内部動力源の起動や外部動力供給の接続で機械が作動しない，機械の起動は電圧や圧力の増加で停止は除去で行う，動力中断後の再起動防止，動力供給の中断が危険状態とならない，自動監視の使用，プログラマブル電子制御システムへのIEC61508の適用，手動制御器への人間工学的原則の適用，段取り・ティーチング・工程切替え・不具合の発見・清掃又は保全などの作業に対して他の制御モードの禁止，ホールド・ツー・ラン装置の適用，危険区域への接近制限，非常停止制御器の設置など，制御モード及び運転モード切替装置の設置，電磁両立性を達成するためのIEC61000-6シリーズなどの採用，不具合の発見及び修正を支援する診断システムの組み込み	4.11
12	安全機能の故障の確率の最小化	・信頼性のある構成部品の採用，非対称故障モード構成品の採用，構成品又はサブシステムの二重系または冗長系の採用，	4.12
13	設備の信頼性による危険源への暴露機会の制限		4.13
14	供給/取出し作業の機械化及び自動化による危険源への暴露機会の制限		4.14
15	段取り等及び保全の作業位置を危険区域外とすることによる危険源への暴露機会の制限		4.15

保護装置を現場で活用する際の留意点（2）
―最近非常に気になること―

2）安全技術の重要性に対する認識不足

　2006年の労働安全衛生法の改正（第28条の2の追加）によって、リスクアセスメントが急速に普及しつつある（これは良いことだが、しかし）

リスクの概念が普及する一方で、保護装置の構造を始めとする安全技術の話が希薄になっている！！

リスクアセスメントは単なる評価技術に過ぎず、本質ではない！！

※　少なくとも労働安全分野では、10年くらい前の方が真剣に保護装置の構造の議論をしたような気がする。

3）保護装置と支援機器の混同

確定的な保護装置と非確定的な支援機器が混同されている。

→**ICT技術の進歩に対する誤った理解！！**

保護装置とは？　支援機器とは？
－その背後には情報理論としての本質がある－

1）保護装置

　ISO12100-1では“ガード以外の安全防護物をいう”と定義されている。後述する（確定的な）**安全情報**を生成するシステムをいう。　ex.プレス機械に適用したカテゴリー4の光線式安全装置

2）支援機器（保護装置まがい）

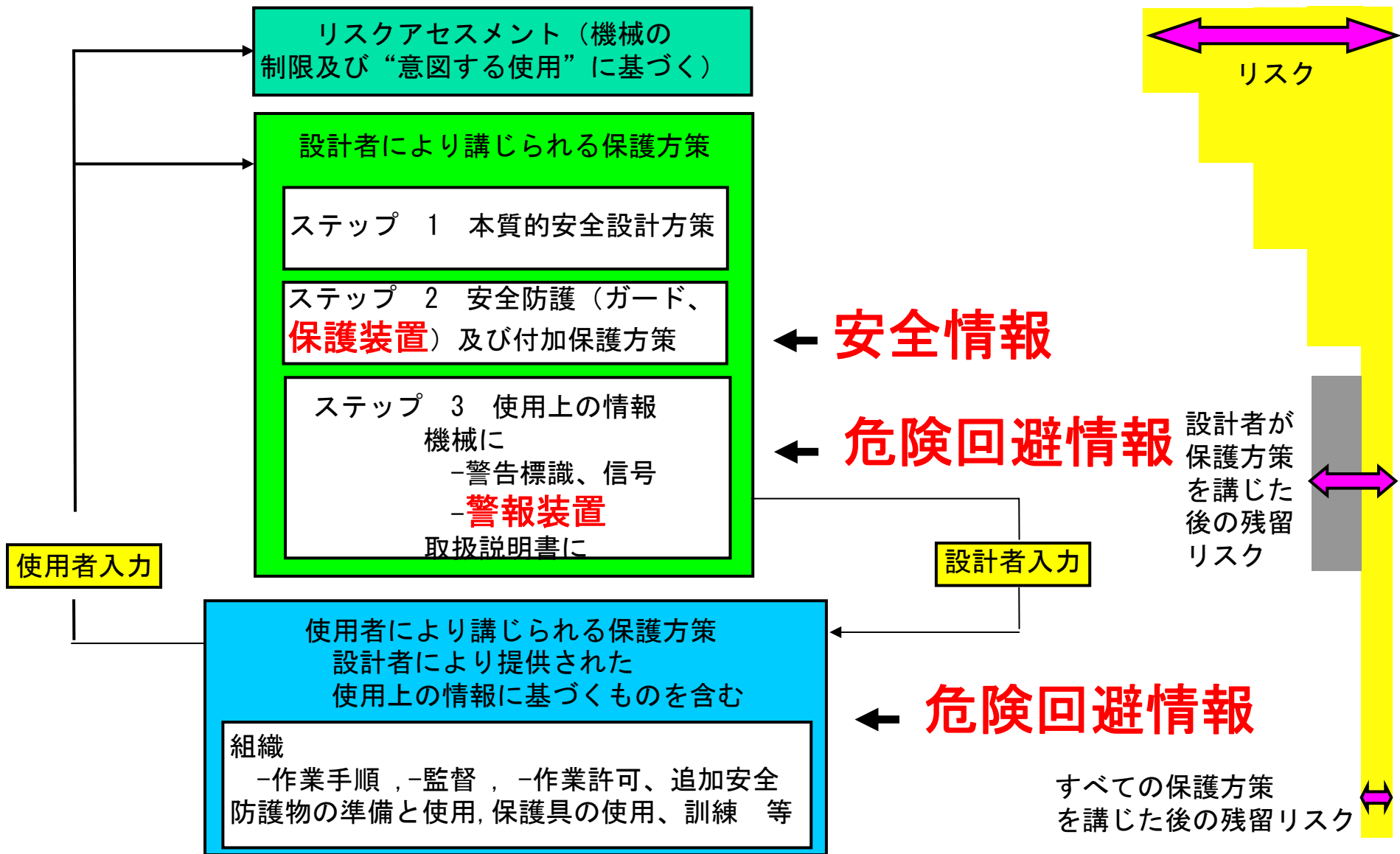
　後述する（不確定性を伴う）**危険回避情報**を生成するシステムをいう。

ex. レーザー式エリアセンサで建設機械への人の接近を検知して、警報を出す。

✕ 一般のカメラを使って人の接近を検知し、機械を停止させる（支援機器の誤った使い方）

→他の適当な災害防止手段がない場合に、やむを得ない次善の策として安全管理の一手法と位置づけ採用するもの。

人間機械作業システムにおける情報の種類

<table>
<tr><td>No</td><td colspan="4">情報の種類と説明</td></tr>
<tr><td>1</td><td colspan="3">機能情報</td><td>・システムが定めた目標の達成に関する情報</td></tr>
<tr><td>2</td><td rowspan="2">保護情報</td><td rowspan="2">システムの保護に関する情報</td><td>危険回避情報
→安全管理で利用</td><td>・人間側に与えられる災害防止、危険回避またはリスク低減に関する情報
・災害情報、ヒヤリハット情報、失敗情報、安全作業標準、警告表示などが該当する</td></tr>
<tr><td>3</td><td>安全情報
→機械安全で利用</td><td>・機械側に与えられる制御情報
・オン（安全）：機械の運転を許可
オフ（危険）：機械の運転を禁止</td></tr>
</table>

機械安全国際規格のリスク低減戦略

EN292(1991)、ISO12100(2003)、JISB9700（2004）

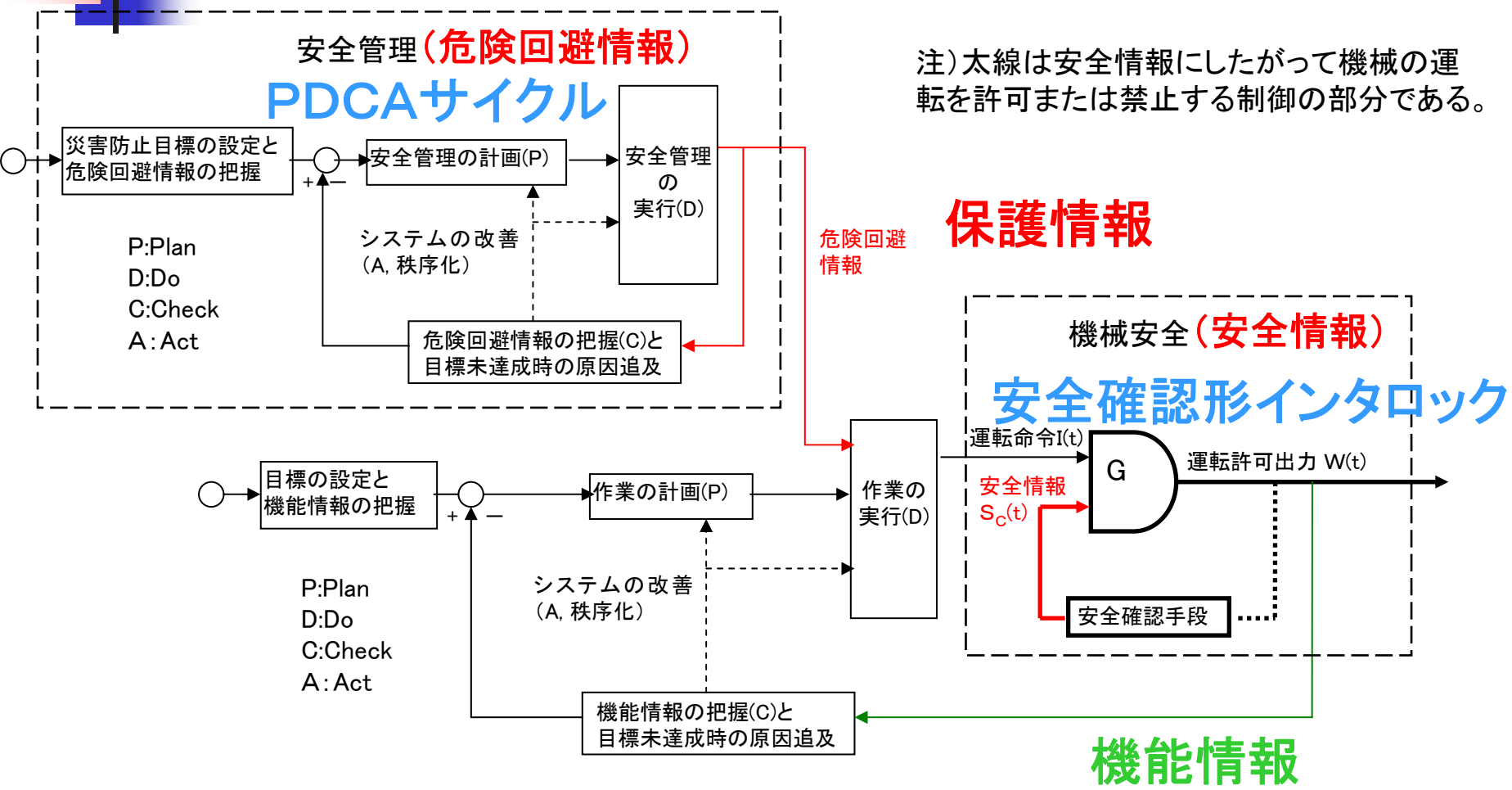
機能情報、危険回避情報、安全情報の連携モデル

安全情報の基本特性(1)

表　安全情報のユネイトな関係

No	真の安全状態　S	安全情報の出力 S_C	判　定
1	安全(1)	運転許可(1)	○　正常
2	危険(0)	運転禁止(0)	○　正常
3	安全(1)	運転禁止(0)	○　安全側故障　(稼働率低下)
4	危険(0)	運転許可(1)	×　危険側故障　(**災害発生**)

注)以上の関係は**$S \geqq S_C$**となる。これを**ユネイトな関係**という。

また、**$S(t) \geqq S_C(t)$**を**時間軸上**の**ユネイトな関係**という。

安全情報の基本特性(2)

図の灰色の区間に限って安全情報が生成する。区間Lを越えて安全情報が生成されると、危険を誤って安全と伝えるためにユネイト性が成立しない。

図　安全情報の有効寿命

安全情報に有効寿命があるということは、所定時刻までに情報を確定的に消去できる構造が必要であることを意味する
→これを保証するのが**熱力学第二法則(エントロピ増大則)。**

$$E_F = (U_F - U_O) - T_O(S_F - S_O)$$

E:有効エネルギ(危害の源)、U:内部エネルギ、T:温度、S:エントロピ

今後、現場で必要な保護装置と支援機器は？ー第三次産業における機械種別毎の死亡災害発生件数（H11～H15）ー

大分類	中分類	①廃棄物処理機械					②昇降搬送機械											③第三次産業固有機械						④第三次産業以外でも広く使われている機械									合計
		混合機・粉砕機	梱包プレス	ゴミ収集車	その他	小計	エレベータ	リフター	リフト	クレーン	移動式クレーン	フォークリフト	コンベア	立体駐車場	高所作業車	その他	小計	ゴルフ場機械	自動車整備機械	洗車機	舞台装置	遊戯施設	小計	トラック	乗用車	ドラグショベル	トラクターショベル	ショベルローダ	ホイールローダ	シャッター・電動扉	その他	小計	
商業	家具・建具・じゅう器等卸売業						2										2																2
	その他の卸売業	3	3	3		9		1	4		1	4					10							5	1		2	1	1	2	1	13	32
	燃料小売業				1	1														4			4	4	1							5	10
	各種商品小売業								1								1								1							1	2
	自動車小売業															1	1		1				1	2	2						1	5	7
	その他の小売業						1		1		3	3					8							1	1			2			1	5	13
	倉庫業								1			5				2	8																8
	新聞販売業																								1							1	1
	その他										4	1				1	6							2	1					1	1	5	11
金融・広告業	金融業																																
	保険業													2			2																2
映画・演劇業																																	
通信業																																	
教育研究業																								1	1							2	2
保険衛生業	医療保険業																																
	社会福祉施設																																
	その他																																
接客娯楽業	旅館業				1	1																			2							2	3
	一般飲食店																											1			1	2	2
	ゴルフ場																	3					3	1								1	4
	公園・遊園地												1				1					1	1		1							1	3
	その他																							1			1			1		3	3
清掃・と畜業	産業廃棄物処理業	6	2	2	4	14				2	2	1	6				11							7		5	9	2	2		4	29	54
	ビルメンテナンス業						2							2			4							2								2	6
	その他の清掃・と畜業			2		2									1		1							1							3	4	7
	その他の廃棄物処理業	2	1	13		16																		1		1	1				2	5	21
官公署				1		1																											1
その他の事業	警備業										3				2		5							17	1	10		1			8	37	42
	派遣業												1				1														1	1	2
	その他	1				1	2	1	1	1	2	3		2		2	14				2		2	4	2				2	1	5	14	31
合計		12	6	21	6	45	7	2	8	3	15	17	8	6	3	6	75	3	1	4	2	1	11	49	15	16	13	7	5	5	28	138	269

今後、現場で必要な保護装置と支援機器は？ー第三次産業における機械種別毎の死亡災害発生件数（H11～H15）ー

- 第三次産業で発生した機械設備による死亡労働災害は廃棄物処理機械や昇降・搬送用機械で多発している。

（内訳）

・廃棄物処理機械　22件
・リフタ　9件
・エレベータ　8件
・コンベア　8件
・ゴミ収集車　8件
・立体駐車場　7件など

破砕プラント

注）平成11年から15年までの間に第三次産業で発生した機械設備による死亡労働災害275件（挟まれ・巻き込まれに限る）を分析。

根本原因と対策技術要素

根本原因

- 作業空間が広域
  - 死角が多い
  - 広域三次元空間を走査可能な保護装置がない（インタロックを構築できず）
- 処理対象物が多種多様
  - 形状・品種が様々なため、人手による投入・選別作業の実行
  - 既存保護装置では人と物体の区別が困難
- 機械設備が広域を移動
  - 危険区域の状態が動的に変化する.
  - 保護装置を設置するための電源や通信路が確保困難.
  - 遠方から非常停止が困難

対策技術要素

- 空間全域を三次元で走査可能な監視技術
  - 作業者位置検出，衝突予測
- 識別技術
  - 人体と物体の区別，個人識別
- 無線通信を用いた遠隔操作制御・非常停止技術

安衛研の保有技術

・画像センサによる移動体追跡技術
　パタン認識処理
・RFIDを用いた個人識別
・人間工学モデルや3Dラインモデルを
　用いたダイナミックリスクアセスメント
・IT活用安全管理

同様の結果は、著者らが実施した欧州における人間機械協調技術の検討からも得られた。

今後、現場で必要な保護装置と支援機器は？ー危険点近接作業の重要性ー

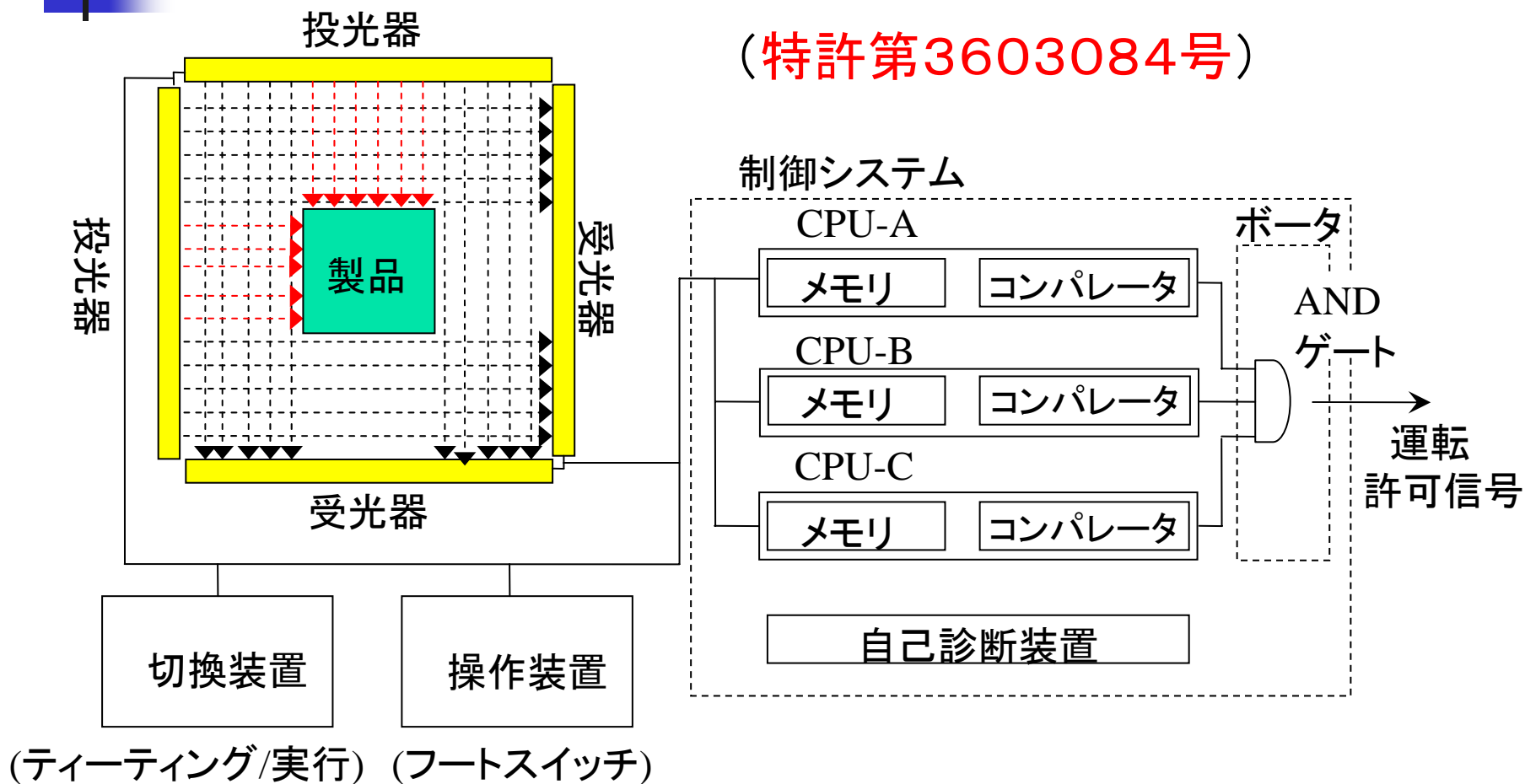
作業者が機械の危険な可動部を停止させないで、**可動部に近接**して行う運転確認・調整、加工、トラブル処理、保守・点検・修理、清掃・除去などの作業をいう。

例）ロボットのマニピュレータに近接して行う修理作業
プレス機械の金型に近接して行う加工作業
ロールに近接して行う清掃作業

危険点近接作業に関連した災害

- 首都圏で発生した産業機械による死亡労働災害（挟まれ・巻き込まれと激突され災害）129件を分析したところ、危険点近接作業に関連した災害は**44.2%**を占めていた。

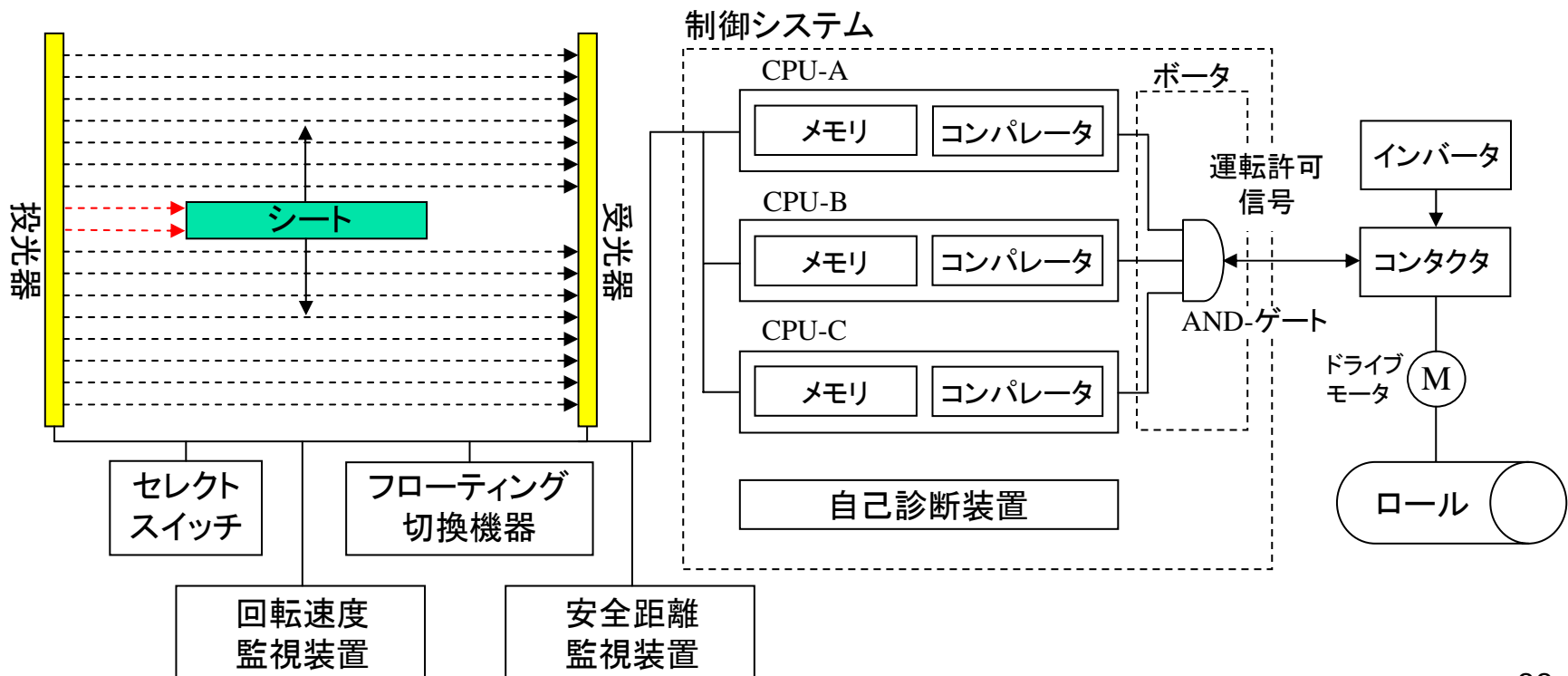
作　業　内　容	件　数
段取り	1
加工	6
運転確認・調整	13
トラブル処理	12
保守・点検・修理	6
清掃・除去	9
材料や製品の扱い	4
その他	6
総計	57（**44．2%**）

当研究所で検討した保護装置と支援機器の具体例 ーアルミサッシ加工用プレス機械の保護装置ー

長尺の材料を加工する際の災害防止条件

- 長尺の材料を金型内にセットする。
- 光軸の通光及び遮光のパターンをメモリに記憶させる（教示モード）。
- 記憶した通光・遮光パターンと一致するときのみ運転を行う（運転モード）。
- 作業者の手指が危険領域に進入したときは、記憶した通光・遮光パターンとの不一致となり、スライドは起動しない。
- 材料がずれたり、異なる材料が挿入されたときも、不一致となる。

アルミサッシ加工用プレス機械の保護装置の写真

- 自動運転、シート供給、ロール清掃など、多様な作業に対応できる装置とする（特許第3540294号）。

制御システム
CPU-A
メモリ
コンパレータ
CPU-B
メモリ
コンパレータ
CPU-C
メモリ
コンパレータ
ボータ
運転許可信号
AND-ゲート
自己診断装置
インバータ
コンタクタ
ドライブモータ
M
ロール
投光器
シート
受光器
セレクトスイッチ
フローティング切換機器
回転速度監視装置
安全距離監視装置

ロール機の災害防止条件

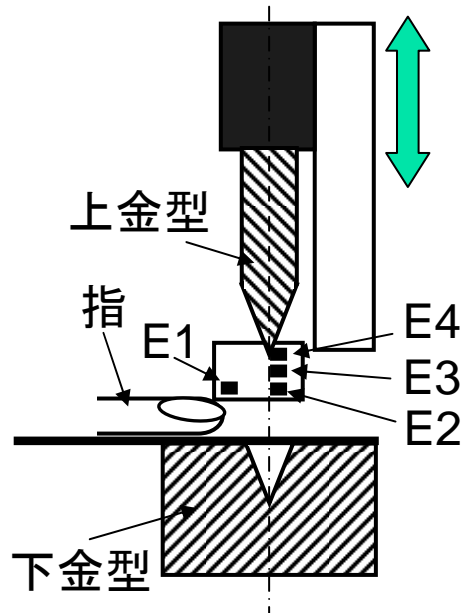
	安全な状態			
	NとFとの関係		安全距離D	ロールの状態
自動運転	N≦F	N≦1	D≧R	高速
シート供給		N≦1	D≧r	低速
ロール清掃		N≦2	D≧r	逆低速

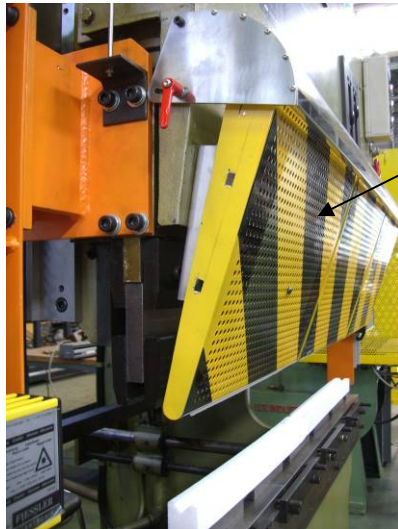
F: フローティング光軸数
N: 遮光光軸数
R: 高速モード時の安全距離
r : 低速モード時の安全距離

ロール機用保護装置の写真

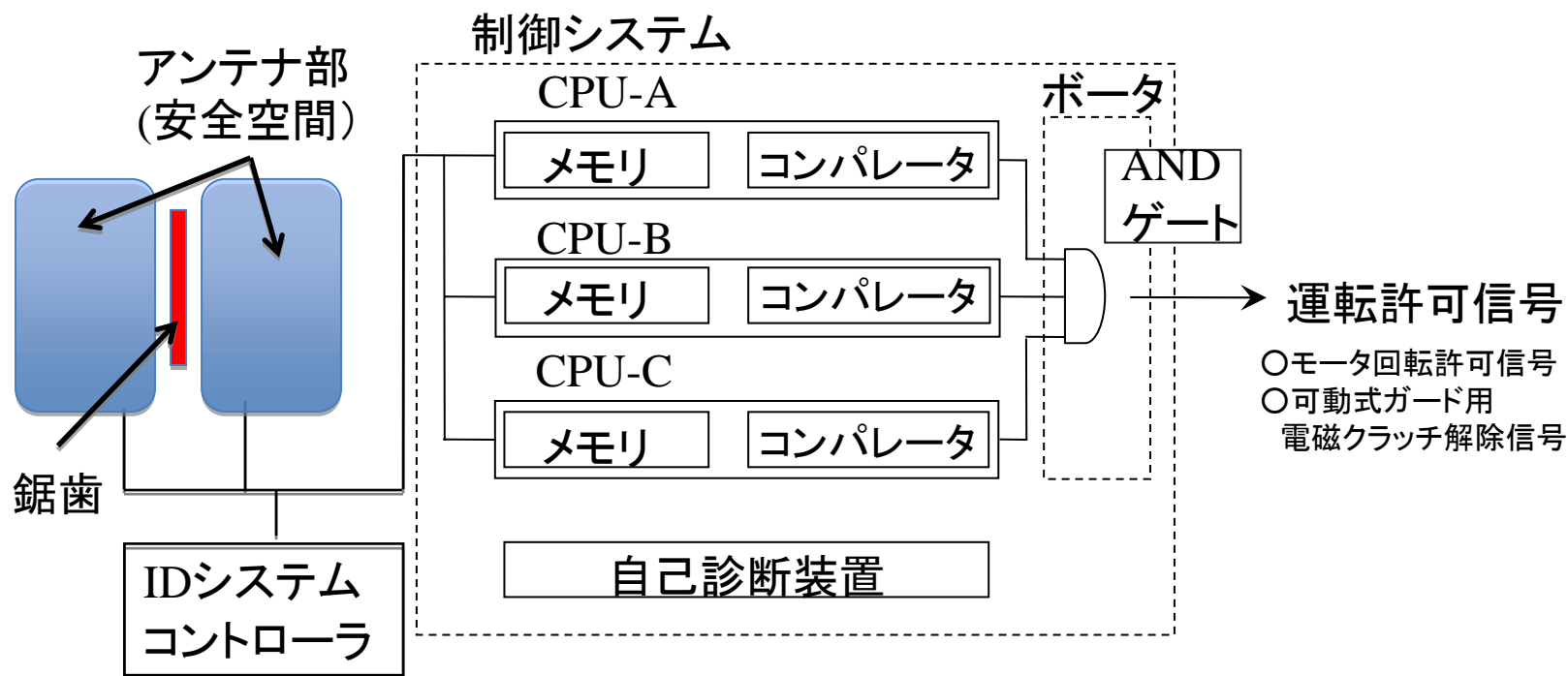
二次加工用プレスブレーキの保護システムの外観

（上金型と下金型間への挟まれ）

レーザー式安全装置

（金型と板の間への挟まれ）

軟接触式検知装置

（位置と速度の異常監視）

二次加工用プレスブレーキの安全システム

当研究所で検討した保護装置と支援機器の具体例ー丸のこ盤の安全装置ー

丸のこ盤作業の災害防止条件

- 作業者の手指にICタグを装着し、ループコイルを使って安全空間に存在ことを常時確認する。
- 作業者の手指が安全空間内に存在するとき、電磁ブレーキを開(ON)として可動ガードのロックを解除する。
- 作業者の手指が安全空間内にあることが確認できない場合は、直ちに電磁ブレーキを閉(OFF)として可動ガードをロックする。
- RFIDシステムの故障時は電磁ブレーキ閉となる。

丸のこ盤の安全装置

結　論

- 以上、保護装置を現場で活用する際の留意点と、現場で必要と考えられる保護装置と支援機器のあり方について述べた。

- また、危険点近接作業を対象とした保護装置と支援機器の具体例として、①アルミサッシ加工用プレス機械、②ロール機、③二次加工用プレスブレーキ、④丸のこ盤を対象としたシステムを紹介した。

- 今後は、空間全域を三次元で走査可能な監視技術、人体と物体の識別技術、無線通信を用いた遠隔操作制御・非常停止技術などについて産業機械への具体的な活用を進める予定でいる。